

ЭФФЕКТИВНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИЗМОЙ С МАЛЫМ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕМ

Ю. А. Нестриженко, П. Г. Дальченко,
А. П. Пятиков и В. В. Шевченко

В экспериментах с лазером на стекле с неодимом и поляризатором на основе полного внутреннего отражения (ПВО) измерен максимальный коэффициент отражения подавляемой компоненты поляризации, при котором еще возможна генерация только ортогональной ей компоненты. На основании проделанных экспериментов делается вывод о пригодности веществ с весьма малой (порядка 10^{-4}) анизотропией показателя преломления в поляризаторах на основе ПВО. Указывается на возможность создания монокристаллического электрооптического затвора, работающего по принципу нарушения или восстановления ПВО, глубина модуляции которого может быть увеличена при выполнении входных граней под углом Брюстера. Сравнительными измерениями показано, что основные потери излучения в лазерах с поляризаторами на основе ПВО определяются потерями в пределах диаграммы направленности излучения.

Ранее сообщалось [1] о возможности поляризации излучения неодимового лазера при помещении в резонатор поляризатора с использованием полного внутреннего отражения (ППВО), в котором при условии полного внутреннего отражения (ПВО) для луча одной поляризации луч другой поляризации отражается частично. Представляет интерес выяснение максимальной величины коэффициента отражения подавляемой компоненты

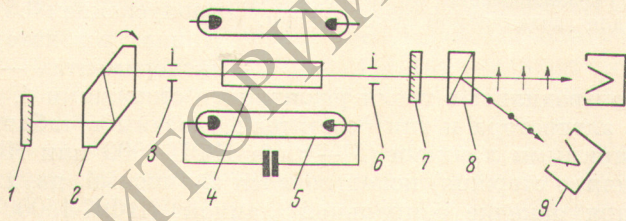


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

поляризации $K_{\text{ми}}$, при которой еще возможна генерация линейно поляризованного света. Известно, что при применении поляризаторов с сильно выраженной поляризующей способностью [2-4] возможна генерация поляризованного излучения почти без потерь энергии, в то время как при использовании ППВО потери энергии составляют заметную величину [1]. Нами также предпринята попытка выяснения причины этих потерь.

Для определения $K_{\text{ми}}$ нами в неодимовом лазере (рис. 1) был использован ППВО 2, изготовленный из синтетического корунда с оптической осью, перпендикулярной плоскости падения. Угол наклона входной грани к отражающим $\phi_0 = 34^\circ 44' 40''$; проходящий через призму по нормали к входной грани луч испытывает два отражения под углом, равным ϕ_0 . При этом угле падения обыкновенный o -луч (вектор электрических колебаний лежит в плоскости падения — p -компонента) испытывает ПВО (изменением угла ПВО в спектральном диапазоне генерации ионов нео-

дима — около $0.15''/\text{Å}$ — можно пренебречь из-за малой дисперсии показателя преломления корунда). При угле ПВО для o -луча коэффициент отражения необыкновенного e -луча K_n (для него угол ПВО равен $\psi_e = 34^\circ 55' 20''$) рассчитывался по формуле, следующей из [1]

$$K_n = \left(\frac{n_e \sqrt{n_o^2 - 1} - \sqrt{n_o^2 - n_e^2}}{n_e \sqrt{n_o^2 - 1} + \sqrt{n_o^2 - n_e^2}} \right)^2, \quad (1)$$

где n_o и n_e — главные значения показателей преломления o - и e -луча (равные соответственно 1.75464 и 1.74684), и оказался равным 0.77 при одном отражении. При изменении угла падения ψ (поворотом призмы по стрелке, рис. 1) от угла ПВО для o -луча до угла ПВО для e -луча (вектор электрических колебаний перпендикулярен плоскости падения s -компоненты)

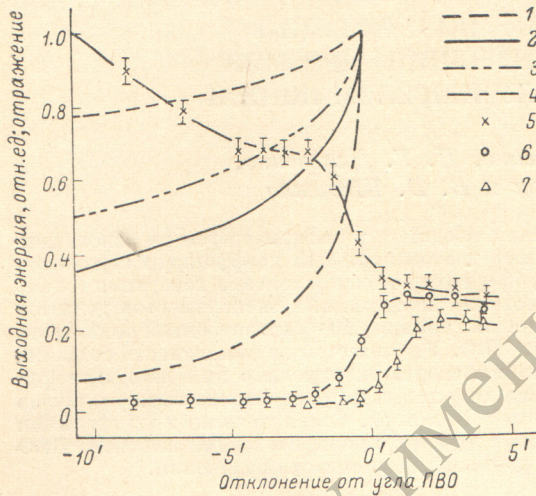


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения s -компоненты при одном отражении (1), при двойном проходе поляризатора (2) и p -компоненты при одном отражении (3), при двойном проходе поляризатора (4) и выходной энергии основной (5) и подавляемой поляризации s -компоненты (6), p -компоненты (7) в зависимости от отклонения от угла ПВО для подавляемой поляризации.

Измерения производились с тремя различными стержнями 4, их размеры, концентрация активатора и тип осветителя указаны в таблице. При накачке двумя прямыми лампами (5 — типа ИФП-2000 или ИФП-5000 соответственно длине стержня) использовался эллипсный, двухлепестковый отражатель, при накачке спиральной лампой (ИФК-15000) — цилиндрический. Охлаждение ламп и стержня осуществлялось 5%-м водным раствором нитрита натрия, что обеспечивало необходимое для стабильной работы активного стержня поглощения ультрафиолетового излучения ламп накачки [6]. Выходное излучение лазера расщеплялось двоякопреломляющим анализатором 8 на p - и s -компоненты, соответствующие o - и e -лучу в поляризаторе, энергия которых измерялась болометрами 9 с пороговой чувствительностью около $3 \div 5$ мдж. По обеим сторонам стержня в непосредственной близости от него располагались диафрагмы диаметром 4 мм 3, 6 для выделения равномерно накачиваемой области стержня.

Выходная энергия лазера с диафрагмами составляла $1 \div 4$ дж (в зависимости от образца и осветителя). Типичные значения ширины диаграммы направленности по уровню 0.1 для различных стержней оказались лежащим в пределах $2.5' \div 3'$ в плоскости падения призмы и $3' \div 4.5'$ — перпендикулярно ей. В каждом случае определялось достигаемое при максимальной накачке усиление k по возникновению генерации в резонаторе, образованном зеркалами с малым отражением или стеклянными

рис. 1) от угла ПВО для o -луча до угла ПВО для e -луча (вектор электрических колебаний перпендикулярен плоскости падения s -компоненты) коэффициент отражения последнего, вычисленный по приведенным в [5] формулам, достигает единицы (рис. 2), так что при некотором предельном угле падения $\psi_{пр}$ на выходе лазеров, кроме основной компоненты поляризации (o -луча), появится подавляемая (e -луч). Соответствующий этому углу коэффициент отражения подавляемой компоненты будем считать превышающим $K_{мп}$, при котором излучение лазера еще будет оставаться линейно поляризованным.

Резонатор лазера (рис. 1) был образован зеркалами с пропусканием 0.5 и 45% (1, 7). Длина резонатора во всех экспериментах — около 1 м.

номер образцов	Активный элемент		Осветитель	ζ	h	$K_{мп}$
	размеры, процент примеси					
1	$\varnothing 15 \times 240$ мм (2%)	}	прямые лампы	9.0	12	$0.92 \div 0.94$
1	$\varnothing 15 \times 240$ мм (2%)			7.8	—	$0.94 \div 0.96$
1	$\varnothing 15 \times 240$ мм (2%)			5.3	—	$0.92 \div 0.95$
1	$\varnothing 15 \times 240$ мм (2%)			2.8	—	$0.93 \div 0.95$
2	$\varnothing 10 \times 120$ мм (2%)			6.0	5	$0.90 \div 0.92$
2	$\varnothing 10 \times 120$ мм (2%)	}	спиральная лампа	≥ 2.5	2	$0.92 \div 0.94$
3	$\varnothing 10 \times 120$ мм (6%)			≥ 2.5	2	$0.92 \div 0.94$

пластинами (отражение в этом случае считалось резонансным). В резонаторе с зеркалами, имеющими пропускание 0.5 и 45%, порог генерации обеих компонент поляризации не превышал 1.0 кдж. При помещении призмы в резонатор и ее повороте порог изменялся не более чем на $10 \div 20\%$. На рис. 2 представлены зависимости выходной энергии компонент поляризации от отклонения угла падения от угла ПВО для подавляемой компоненты при максимальной накачке (o - и e -лучи) для образца № 2. При точной юстировке входной грани поляризатора по нормали к оси резонатора эффективный коэффициент отражения «глухого» зеркала для подавляемой компоненты равен 0.35 (при учете двукратного прохождения света через поляризатор), однако благодаря вынужденной поляризации излучения подавляемая компонента не генерируется, хотя накачка и достаточна для того, чтобы достигался ее порог генерации при отсутствии поляризатора в резонаторе при коэффициенте отражения (среднем) обеих зеркал 0.2. При изменении угла падения на $8'$ энергия подавляемой компоненты (e -луча) почти не изменялась (обычно ее величина равна $0.5 \div 2\%$ от энергии o -луча). Изменение энергии основной компоненты (o -луча) при этих углах падения связано с тем, что увеличиваются потери излучения, поскольку отражение на границе воздух—корунд составляет 7.5%. В пределах $\pm 2'$ относительно угла ПВО для e -луча происходит резкое изменение интенсивностей o - и e -лучей, т. е. достигается порог генерации подавляемой компоненты. При дальнейшем изменении угла падения продолжается монотонное уменьшение интенсивности обеих компонент. Зависимость выходной энергии o - и e -лучей для остальных стержней имеют аналогичный вид. С целью повышения точности измерений угол $\psi_{пр.}$ определялся по пересечению линейной части зависимости интенсивности e -луча от угла падения с осью абсцисс, поскольку угол падения, начиная с которого растет его интенсивность, выражен недостаточно четко. В таблице указаны полученные при многократных измерениях пределы изменения величины $K_{мп}$ (при одном отражении), соответствующие измеренным $\psi_{пр.}$ при различных превышениях ζ накачки над пороговой. Замечено также, что измеренные $\psi_{пр.}$ отличаются от угла, при котором начинается насыщение интенсивности подавляемой компоненты не более, чем на $3'$, что совпадает с угловой расходимостью лазера. Измеренные величины $K_{мп} \geq 0.9$. Отсутствие зависимости $K_{мп}$ от условий эксперимента (достигаемого усиления, превышения над пороговой и т. п.) обусловлено, по-видимому, тем, что генерация подавляемой компоненты, сравнивая по интенсивности с основной компонентой, происходит только в том случае, если ее потери в пределах диаграммы излучения лазера достаточно малы, поскольку она достигает насыщения при углах падения на границу раздела в поляризаторе превышающих $\psi_{пр.}$ на величину, близкую к угловой расходимости излучения лазера. В пользу этого предположения говорит и тот факт, что если подавляемой является p -компонента, ее энергия достигает насыщения (рис. 2) при изменении угла падения от $\psi_{пр.}$ на $3'$, что также совпадает с расходимостью лазера, при этом $\psi_{пр.}$ отличается от угла ПВО не более чем на $30''$.

Полученное для случая подавляемой s -компоненты предельное значение $K_{\text{мл}}$ при одном отражении не менее 0.9, что соответствует $\Delta n = |n_o - n_e| \approx 1 \div 2 \cdot 10^{-4}$. Если подавляемой является p -компонента, необходимое для эффективной поляризации излучения Δn материала призмы может быть, очевидно, еще меньше. Это увеличивает число двоякопреломляющих материалов, пригодных для изготовления поляризатора и, кроме того, позволяет при выборе руководствоваться другими критериями, например,

стойкостью материала к мощному излучению.

Следует отметить, что изменение показателя преломления на величину $10^{-4} \div 10^{-3}$ может быть достигнуто в некоторых материалах (таких как ниобат бария — стронция [7]) при наложении электрического поля умеренной величины и это позволит, по-видимому, реализовать монокристаллический электрооптический затвор на основе восстановления или нарушения ППВО. Глубину модуляции в таком затворе можно увеличить, выполнив его входные грани под углом Брюстера. Такой модулятор будет иметь, очевидно, сравнительно большую скорость включения добротности за счет многократного отражения вблизи полного внутреннего.

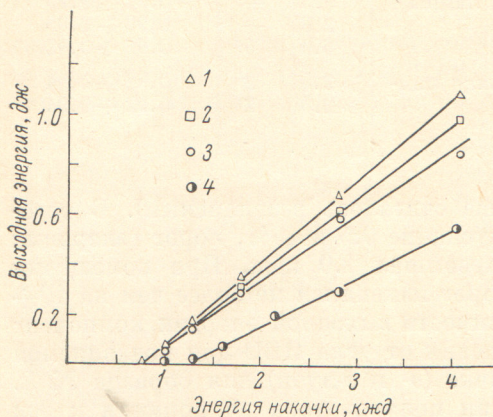


Рис. 3. Зависимость выходной энергии от накачки для лазера с различными призмами в резонаторе.

1, 2 — неполяризованное излучение; 3, 4 — поляризованное излучение.

Для определения характера потерь излучения в поляризаторе на основе полного внутреннего отражения нами сравнивались приведенные на рис. 3 энергетические характеристики лазеров: 1 — без призмы; 2 — со стеклянной 45-градусной призмой-ромбом с двумя отражениями; 3 — с поляризатором на основе ПВО, в котором угол падения ψ больше угла ПВО ψ_0 для рабочей длины волны 1.06 мкм на $4'$; 4 — с поляризатором на основе ПВО, в котором $\psi = \psi_0$. Из этих характеристик следует, что максимальные потери энергии наблюдаются для поляризатора, в котором угол падения соответствует предельному углу ПВО, и, следовательно, велики потери излучения за счет подавления внеосевых мод. Потери же излучения для лазера со стеклянной призмой и призмой, в которой $\psi - \psi_0 = 4'$, определяются потерями на отражение на входных гранях.

Таким образом, можно сделать вывод, что поляризатор на основе ПВО является весьма эффективным и может применяться при весьма больших превышениях накачки над пороговой.

Литература

- [1] Ю. А. Нестриженко. Опт. и спектр., 24, 1000, 1969.
- [2] Е. Д. Исянова, Ю. Э. Камач, М. Л. Капица, Е. Н. Козловский, В. М. Овчинников. Опт. и спектр., 27, 686, 1969.
- [3] С. А. Коновалова. Изв. вузов, физика, 7, 126, 1970.
- [4] Б. Г. Березин, Б. А. Ермаков. Опт. и спектр., 27, 310, 1969.
- [5] А. П. Хапалюк. ДАН БССР, 4, 505, 1960.
- [6] В. М. Волынкин, А. А. Мак, Ю. Н. Михайлов, А. К. Погодаев, А. И. Степанов. Опт.-механич. промышл., 3, 65, 1968.
- [7] И. С. Рез. Усп. физ. наук, 93, 633, 1967.

Поступило в Редакцию 15 ноября 1971 г.